

Comparación del clima interglacial eemiense y holoceno en el norte de España a partir de los indicadores paleoclimáticos de estalagmitas de la Cueva del Cobre (Palencia)

Comparison of the Eemian and Holocene interglacial climate in Northern Spain based on paleoclimatic proxies of stalagmites from Cueva del Cobre (Palencia)

M.B. Muñoz-García¹, J. Martín-Chivelet¹, C Rossi², D.C Ford³ y H.P Schwarcz³

1 Dpto. de Estratigrafía – UCM, Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Fac. CC. Geológicas – Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid, España. mbmunoz@geo.ucm.es, j.m.chivelet@geo.ucm.es

2 Dpto. de Petrología y Geoquímica – UCM, Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Fac. CC. Geológicas – Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid, España. crossi@geo.ucm.es

3 School of Geography and Geology, McMaster University, Hamilton, Ontario, L8S 4M1, Canada. dford@mcmaster.ca, schwarcz@mcmaster.ca

Resumen: El Eemiense se suele considerar un buen análogo del Holoceno a pesar de la diferente configuración orbital de cada época. La comparación de varios indicadores paleoclimáticos obtenidos en estalagmitas eemienses y holocenas de la Cueva del Cobre (Montaña Palentina) aporta datos que permiten verificar esta supuesta similitud. Los indicadores paleoclimáticos comparados son la tasa de crecimiento de las estalagmitas, las texturas de la calcita y los isótopos estables de oxígeno. En comparación con los holocenos, los espeleotemas eemienses son más grandes porque han crecido sin interrupción durante más tiempo, presentan una variedad menor de texturas de calcita y apenas registran láminas anuales. Además, ni las texturas de calcita ni la composición isotópica de oxígeno muestran signos de alteración diagenética. En función de estos indicadores se ha podido deducir que el clima de la zona de estudio fue durante el Eemiense ligeramente más cálido que durante el Holoceno y considerablemente más seco, contradiciendo las estimaciones más aceptadas del clima global para el Último Periodo Interglacial. El clima eemiense en la zona de estudio fue además más estable y tuvo una estacionalidad menos marcada que en los últimos 6000 años. El análisis de los cambios sincrónicos de estos indicadores ha permitido estimar una duración del Último Periodo Interglacial de ~21ka en esta zona.

Palabras clave: clima interglacial, Holoceno, Eemiense, espeleotemas, Norte de España.

Abstract: The Eemian is usually considered as a close analogue of the Holocene, despite their different orbital configurations. The comparison of some paleoclimatic proxies in different stalagmites of Eemian and Holocene age from Cueva del Cobre (Palencia) allows us to check the assumed similarity. The analyzed paleoclimatic proxies were growth rate of the stalagmites, their calcite textures, and oxygen stable isotope ratios. In general, the Eemian speleothems are larger because they experienced longer periods of time for growth without hiatuses, display less variation of calcite texture and very seldom preserve annual growth layers. They contain a well preserved isotopic record. According to these proxies it was possible to infer that the Eemian climate in the study area was slightly warmer and considerably drier than it has been during the Holocene. This later aspect contrasts with the broadly accepted estimation of a more humid global climate for that time. In the study area, the climate also seems to have been more stable and characterized by less pronounced seasonality. The study of the synchronous changes of the proxies allowed us to estimate the Eemian duration to be ~21ka.

Key words: interglacial climate, Holocene, Eemian, speleothems, Northern Spain.

INTRODUCCIÓN

El Eemiense se considera un buen análogo del Holoceno respecto a condiciones climáticas generales y patrones de vegetación. El Último Periodo Interglacial se utiliza como “estándar climático” de periodo interglacial en ausencia de impacto antrópico para probar futuros escenarios climáticos (e.g., Klotz *et al.*, 2003; Tzedakis, 2003) pese a las diferentes configuraciones orbitales de cada época. Según las reconstrucciones realizadas por amplios grupos

interdisciplinares, el clima eemiense fue a escala global ligeramente más cálido, más húmedo y más inestable que el del Holoceno (e.g., IPCC, 1992; Kukla *et al.*, 2002).

Para aportar datos que permitan verificar la supuesta analogía entre los dos periodos, en este trabajo compararemos algunos indicadores paleoclimáticos obtenidos en ocho estalagmitas interglaciales procedentes de la Cueva del Cobre. Cinco de ellas son de edad holocena y tres crecieron, al menos en parte,

durante el Eemiense (Muñoz García, 2007 y Muñoz-García *et al.*, 2007).



FIGURA 1. Mapa de situación de la Cueva del Cobre.

MÉTODOS

Las muestras estudiadas se recogieron en los años 2001 y 2002. El aspecto exterior de todas las estalagmitas era muy similar, con la superficie brillante y limpia. El muestreo se llevó a cabo en una zona profunda de la Cueva del Cobre, una cavidad con 10 km de conductos conocidos situada a media ladera de la Sierra de Peña Labra, al norte de la provincia de Palencia (Fig. 1). La única entrada conocida de la cueva se sitúa a 1600 m s.n.m. Las galerías en las que se realizó el muestreo se encuentran bajo un valle de origen glaciar cubierto por morrenas cuya cota se sitúa

alrededor de 1800 m s.n.m. El clima en la actualidad es de alta montaña con influencia continental. La temperatura media anual es $\sim 6^{\circ}\text{C}$ y las precipitaciones medias anuales mayores de 1500 mm, lo que permite la formación de una cubierta invernal de nieve de varios meses de duración.

Las dataciones de las estalagmitas se han realizado por el método $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, mediante espectrometría de ionización térmica (TIMS) y con fuente de plasma (ICPMS) en los laboratorios de la Universidad de McMaster y GEOTOP, ambos en Canadá. La precisión es de 1% en el primer caso y de 0,1% en el segundo. Las tasas de crecimiento de cada estalagmita se han calculado por interpolación lineal entre los puntos datados. La correlación microestratigráfica de los cambios en las texturas de la calcita de las estalagmitas contemporáneas ha permitido mejorar la datación en los tramos de las estalagmitas más alejados de las edades absolutas. Una textura especial de la calcita, a la que denominaremos “dobletes”, está formada por una alternancia rítmica de calcita sin inclusiones fluidas y calcita rica en inclusiones fluidas o pseudopleocroica (Fig. 2). El tiempo de formación de estos dobletes se ha calculado teniendo en cuenta su espesor modal y la tasa de crecimiento del espeleotema en ese punto. Por último, se han realizado análisis de isótopos estables de oxígeno a intervalos regulares a lo largo del eje de crecimiento de las estalagmitas. La precisión de los análisis es de 0,1% mientras que la resolución de los registros varía entre 15 y 360 años en las estalagmitas holocenas, y entre 250 y 450 años en las pleistocenas.

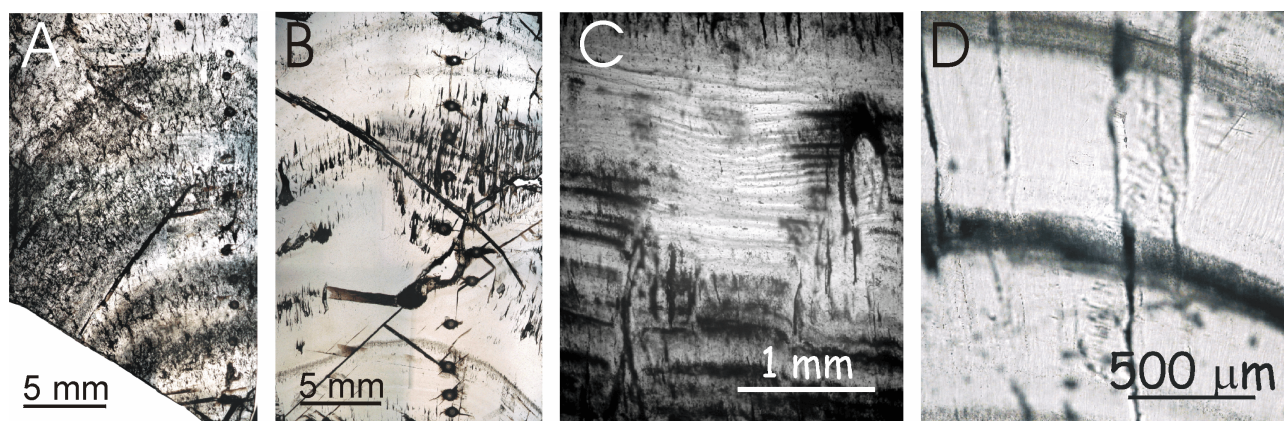


FIGURA 2. A y B) Aspecto microscópico típico de las estalagmitas holocenas y eemienses de la Cueva del Cobre respectivamente. Ambas figuras corresponden a montajes de ocho fotografías realizadas con el microscopio de luz polarizada. Las texturas pleistocenas siempre son más monótonas, lo que sugiere una mayor estabilidad en las condiciones de goteo. C y D) Dobletes formados por una alternancia rítmica de calcita sin inclusiones y calcita rica en inclusiones fluidas.

Todos estos indicadores aportan información paleoclimática (Muñoz García, 2007). La tasa media de crecimiento de los espeleotemas está relacionada con las precipitaciones anuales o, más exactamente, con la humedad efectiva (precipitaciones-evapotranspiración), mientras que los valores isotópicos de oxígeno, asumida la precipitación en equilibrio, dependen de la temperatura y de la composición isotópica del agua de goteo (McDermott,

2004), que a su vez depende de la composición del agua de lluvia. Los cambios en las texturas de la calcita están relacionados con la estabilidad en las condiciones del goteo y en última instancia, con la estabilidad climática (Muñoz García, 2007). Por último, la presencia de dobletes anuales está relacionada con la existencia de un clima con estacionalidad marcada.

RESULTADOS

Todas las estalagmitas estudiadas crecieron durante periodos interglaciales (Muñoz García, 2007): cuatro de ellas durante los últimos 6000 años (C7, C7S, C11 y C12), una se formó alrededor de ~9000 años BP (C10), y otras tres crecieron entre ~150 y 108 ka BP (C1, C4 y C8; Figs. 3 y 4). Aunque el aspecto de todas las estalagmitas es similar, las tasas de crecimiento de las eemienses son 10 veces menores que las de las holocenas, probablemente debido a una menor disponibilidad de agua de goteo (ver figura 3).

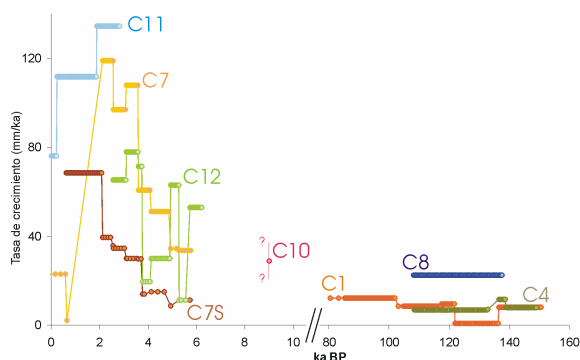


FIGURA 3. Las estalagmitas del Eemiano presentan tasas de crecimiento mucho menores y más estables que las holocenas. Nótese del cambio de escala en el eje x.

El aspecto interior también es similar a grandes rasgos. Toda la calcita es columnar (*sensu* Frisia *et al.*, 2000) y los cambios texturales se definen por el tamaño, la forma y la organización de las inclusiones fluidas. En total se han definido siete tipos de calcita: sin inclusiones, con inclusiones alargadas, con inclusiones triangulares, calcita pseudopleocroica, espigada, nebulosa y oquerosa (Muñoz García, 2007). Todos ellos se alternan en las estalagmitas holocenas mientras que sólo tres (calcita transparente, pseudopleocroica y nebulosa) son dominantes en las eemienses (ver figura 2). La formación de dobletes es más común durante el Eemiano pero su duración media es de 7-8 años, mientras que el espesor de los holocenos sugiere una posible ciclicidad anual.

La comparación del registro isotópico obtenido en este estudio con el del sondeo de hielo de Vostok (Petit *et al.*, 2001) permite calibrar la señal de las estalagmitas y asignar valores de $\delta^{18}\text{O}$ pesados a temperaturas más altas y viceversa (ver figura 4). Los valores eemienses son en general mayores que los actuales, siendo el valor actual el mayor de los últimos 6000 años (ver figura 4), lo que sugiere que la temperatura durante el Eemiano fue mayor que durante el Holoceno.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Pese a la aparente similitud externa de las estalagmitas formadas en los dos últimos periodos interglaciales en la Cueva del Cobre, las que crecieron durante el Eemiano y el Holoceno se formaron en

condiciones bastante diferentes de acuerdo con sus indicadores paleoclimáticos. En primer lugar, el clima en la Montaña Palentina durante el Eemiano fue más seco que el actual, según se deduce de las tasas de crecimiento y la textura columnar y sin inclusiones de los espeleotemas. Conclusiones similares se alcanzaron a partir de estudios polínicos de la Cuenca del Tajo (Sánchez Goñi y d'Errico, 2005) y de espeleotemas freáticos en Mallorca (Ginés *et al.*, 2002), todas ellas en contraste con la descripción más aceptada del clima global de esa época (Kukla *et al.*, 2002; IPCC, 1992). Esta anomalía regional pudo deberse según algunos autores a un movimiento del Frente Polar más lejos de nuestras latitudes y, sobre todo, a un reforzamiento del Anticiclón de las Azores (Muñoz García, 2007).

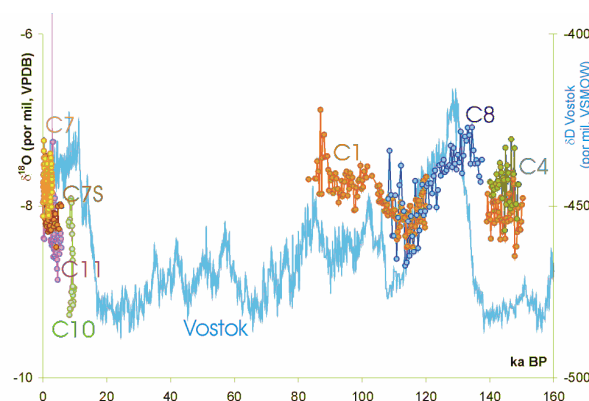


FIGURA 4. La comparación del registro isotópico de la Cueva del Cobre con el sondeo de hielo de Vostok (Petit *et al.*, 2001, eje derecho) permite calibrar la señal y comprobar que las temperaturas durante el Eemiano pudieron ser mayores que durante el Holoceno.

La temperatura durante el Óptimo Eemiano fue en general mayor que la actual como se deduce de nuestra interpretación de los isótopos estables de oxígeno. Este hecho, junto con las precipitaciones escasas, pudo incidir en una menor cubierta de nieve invernal, lo que constituye una diferencia climática y ecológica muy notable.

Todas las características climáticas estudiadas indican una enorme estabilidad del clima durante el Eemiano, de hecho mucho mayor que durante el Holoceno, al contrario de las descripciones del clima de la época más aceptadas (Larsen *et al.*, 1995; Kukla *et al.*, 2002; McDermott, 2004). El aspecto microscópico de la calcita de los espeleotemas de la Cueva del Cobre es mucho más variable durante el Holoceno (ver figura 2), igual que las tasas de crecimiento (ver figura 3). Asimismo, el rango de variación de $\delta^{18}\text{O}$ durante todo el interglacial Eemiano es menor que el de sólo los últimos 6000 años del Holoceno (ver figura 4).

Además, las láminas anuales están casi totalmente ausentes del registro eemiano (no así en el holoceno), por lo que es probable que el clima presentara una estacionalidad menos marcada durante el Último Periodo Interglacial. Esta deducción coincide con las estimaciones obtenidas a partir de registros polínicos

franceses que sugieren la existencia de veranos frescos e inviernos suaves en esta época (Kukla *et al.*, 2002).

Conjugando estos parámetros y analizando los cambios sincrónicos en todos ellos, ha sido posible delimitar el periodo interglacial Eemiense entre ~138 y 117 ka BP en la zona de estudio. La duración del Eemiense así definido (~21ka) es similar a la deducida en la vena de calcita de Devils Hole (Landwehr *et al.*, 1997) o el sondeo de hielo de Vostok (Petit *et al.*, 2001) -de 19 a 22 ka-. Sin embargo, esta duración es sensiblemente mayor que la estimada en función de la insolación y las variaciones del nivel del mar (~10-14 ka como máximo; e. g. Kukla *et al.*, 2002) o de algunas secuencias polínicas terrestres y marinas (~16 ka; Tzedakis, 2003).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los proyectos CGL2004-01866 y CGL2007-60618-BTE y es una contribución del G. de I. Paleoclimatología y Cambio Global (Comunidad de Madrid). Agradecemos a A. Cortel, C. Pino, A. Saria y J. Matas su colaboración en el trabajo de campo.

REFERENCIAS

- Frisia, S., Borsato, A., Fairchild, I. J. y McDermott, F. (2000): Calcite fabrics, growth mechanisms, and environments of formation in speleothems from the Italian Alps and Southwestern Ireland. *Journal of Sedimentary Research*, 70: 1183-1196.
- Ginés, J., Tuccimei, P., Fornós, J.J., Ginés, A., Gràcia, F. y Vesica, P. (2002): Los espeleotemas freáticos de las cuevas costeras de Mallorca: su contribución al estudio del Cuaternario. *Boletín Sedex*, 3: 76-88.
- IPCC – Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (1992): *Cambio climático. Evaluación Científica del IPCC*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid
- Klotz, S., Guiot, J. y Mosbrugger, V. (2003): Continental European Eemian and early Würmian climate evolution: comparing signals using different quantitative reconstruction approaches based on pollen. *Global and Planetary Change*, 36: 277-294.
- Kukla, G.J., Bender, M.L., de Beaulieu, J.-L., Bond, G., Broecker, W.S., Clevenger, P., Gavin, J.E., Herbert, T.D., Imbrie, J., Jouzel, J., Keigwin, L.D., Knudsen, K.-L., McManus, J.F., Merkt, J., Muhs, D.R., Müller, H., Poore, R.Z., Porter, S.C., Seret, G., Shackleton, N.J., Turner, C., Tzedakis, P.C. y Winograd, I.J. (2002): Last interglacial climates. *Quaternary Research*, 58: 2-13.
- Landwehr, J.M., Coplen, T.B., Ludwig, K.R., Winograd, I.J. y Riggs, A.C. (1997): Data for Devils Hole core DH-11. *U.S. Geological Survey, Open-File Report* 97-792.
- Larsen, E., Sejrup, H.P., Johnsen, S.J. y Knudsen, K.L. (1995): Do Greenland ice cores reflect NW European interglacial climate variations? *Quaternary Research*, 43: 125-132.
- McDermott, F. (2004): Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: a review. *Quaternary Science Reviews*, 23: 901-918.
- Muñoz García, M. B. (2007): *Los espeleotemas holocenos y pleistocenos de la Cueva del Cobre (Sierra de Peña Labra, Palencia) como indicadores de variabilidad climática*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 308 p.
- Muñoz-García, M.B., Martín-Chivelet, J., Rossi, C., Ford, D.C. y Schwarcz, H.P. (2007): Chronology of Termination II and the Last Interglacial Period in North Spain based on stable isotope records of stalagmites from Cueva del Cobre (Palencia). *Journal of Iberian Geology*, 33: 17-30.
- Petit, J.R. *et al.* (2001): *Vostok Ice Core Data for 420,000 Years*, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-076. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA. <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data>
- Sánchez Goñi, M.F. y d'Errico, F. (2005): La historia de la vegetación y el clima del último ciclo climático (OIS5-OIS1, 140.000-10.000 años BP) en la Península Ibérica y su posible impacto sobre los grupos paleolíticos. *Monografías (Museo de Altamira)*, 20: 115-129.
- Tzedakis, C. (2003): Timing and duration of Last Interglacial conditions in Europe: a chronicle of a changing chronology. *Quaternary Science Reviews*, 22: 763-768.